

# Prototipus pel seguiment automàtic d'intrusos guiat per càmera fixa

Josep Oriol Herrera Marí

**Resum**— En aquest treball es desenvolupa el programari pel seguiment d'intrusos amb càmera motoritzada (PTZ), d'acord amb un producte comercial de detecció d'intrusos amb càmera fixa. L'aplicació en C++ combina mètodes de la llibreria *OpenCv* per obtenir l'homografia entre les imatges. L'aplicació detecta punts clau, extrau descriptors, genera correspondència de punts, tria punts claus (desenvolupats per aquest treball) i finalment calcula l'homografia que trasllada coordenades de l'imatge a coordenades de l'altre imatge. L'odometria de la càmera robòtica permet l'obtenció de la taula de consulta de coordenades imatge a coordenades angulars de posicionament. L'interfície en C# realitza el seguiment de l'intrús amb èxit que utilitzant les taules anteriors pot integrar-se en el producte comercial. Els resultats dels experiments indiquen que la millor combinació de mètodes és *GoodFeatureToTrack* per extreure els punts clau, *Sift* per descriure'ls, *FlannBased* per la correspondència de punts claus, *Ransac* per l'homografia.

**Paraules clau**— Correspondència de punts clau; Descriptors de característiques; Extracció de punts clau; Filtratge de punts clau; Homografia; Odometria; PTZ; Punts clau;

**Abstract**— In this work we develop the software to follow-up interlopers with motorised camera (PTZ), in accordance with a commercial product of detection of interlopers with fixed camera. The application in C++ combines methods of the *OpenCV* library to obtain the homography between the images. The proposed application detects key points, computes descriptors, matches keypoints, selects the key points (developed by this work) and finally calculates the homography that maps from one image coordinates to the second image coordinates. The odometry of the robotic camera allows to build a look-up table that stores the map from image coordinates to angular coordinates for positioning. The interface in C#, successfully achieves the follow-up of the interloper by using the previous tables the systems can be integrated in the commercial product. Experimental results indicates that the best combination of methods is *GoodFeatureToTrack* for the key points extraction, *Sift* for the keypoint description, *FlannBased* for keypoint matching, and *Ransac* for the homography.

**Index Terms**— Homography; Keypoints; Keypoint extraction; keypoint description; keypoints matching; Odometry; PTZ;



## 1. INTRODUCCIÓ

AQUEST treball consisteix en la prova de concepte per tal d'explorar els mecanismes de seguiment automàtic d'un intrús per una càmera motoritzada *Domo* PTZ (*Pan/Tilt/Zoom*) guiada per les imatges d'una càmera fixa. El sistema que volem provar és una combinació de càmera fixa i càmera motoritzada. Si les dues càmeres analitzen la mateixa escena, la detecció de l'intrús en la càmera fixa desencadena el seguiment de l'intrús amb la càmera motoritzada. La finalitat és la focalització automàtica sense intervenció de cap operador humà de l'activitat de l'intrús i així poder procedir a la seva identificació gràcies al posicionament correcte de la càmera motoritzada.

La càmera es situa en la millor orientació possible cobrint un espai determinat, típicament el màxim del perímetre de l'instal·lació a protegir. En les instal·lacions reals tot el perímetre està cobert per càmeres consecutives cobrint tot l'espai susceptible de ser envaït per persones no autoritzades (filats, portes, camins, jardins, piscines, aparcaments, ...).

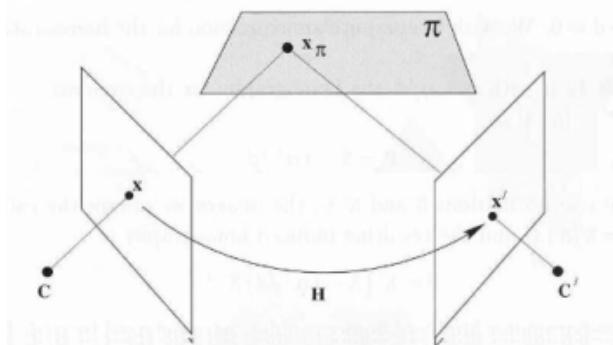
La càmera motoritzada és una càmera convencional muntada sobre una estructura amb moviment que permet tres graus de llibertat controlats per tres motors que posicionen la càmera en les coordenades de treball adequades (*Pan*, *Tilt*, *Zoom*). Aquest tipus de càmeres es diuen comercialment *Domo*, el origen del seu nom deriva de la paraula *Domòtica*. Típicament en una instal·lació real, les càmeres *Domo* es col·loquen en mig de l'instal·lació a protegir per a cobrir el màxim d'extensió útil, al girar la càmera. Les càmeres *Domo* també s'anomenen PTZ de l'acrònim anglès *Pan Tilt Zoom* que són els tres graus de llibertat que poden gestionar aquestes càmeres. Els tres graus de llibertat *Pan*, *Tilt*, *Zoom* corresponen, en ordre, a rotacions en els eixos horitzontal, vertical, i en l'aproximació o allunament del focus.

Si tenim les dues càmeres (càmera fixa i càmera *Domo*) que supervisen una mateixa zona i podem correlacionar les posicions de la càmera fixa, amb l'espai de la càmera *Domo*, llavors qualsevol intrús en moviment detectat en la càmera fixa, podem traslladar la seva posició a la càmera *Domo* i fer-ne un seguiment més acurat de forma automàtica. La correspondència entre els punts de cada imatge determina la relació entre les seves coordenades aplicant geometria.

- E-mail de contacte: [oriol@herrera.cat](mailto:oriol@herrera.cat)
- Menció realitzada: Enginyeria de Computació
- Treball tutoritzat per: Maria Vanrell (Computer Vision Center)
- Tutor empresa: Nicolás Herrero (Davantis Technologies SL)
- Curs 2013/14

Fig. 1: (H) Homografia planar.

El sistema de correlació d'imatges es basa en la geome-



tria projectiva i utilitza la homografia com a eina principal de càlcul. Així doncs, el primer objectiu parcial és obtenir aquesta homografia per tal de poder traduir les coordenades d'un intrús en l'imatge a les coordenades de la seva posició en l'altre imatge per poder centrar l'atenció de la càmera motoritzada en aquelles coordenades. El resultat de l'homografia, la relació de punt a punt entre les imatges es dur a terme en format de taula de consulta (*look-up table*) que permet traslladar directa i ràpidament les coordenades, sense realitzar cap operació de càlcul. El següent objectiu parcial és relacionar les coordenades de l'intrús en l'imatge, amb els angles dels motors de la càmera motoritzada. Combinar els resultats anteriors per calcular la posició de l'intrús, i fer-ne el seguiment.

La metodologia utilitzada en la realització d'aquest treball es el prototipatge del sistema en el laboratori. Les diferents parts del sistema s'han provat per separat. Revisions de parts posteriors del desenvolupament han afectat passos inicials, autoalimentant l'evolució del sistema.

Aquest document presenta el treball en l'introducció on es descriuen l'objectiu principal i els objectius parcials. També s'explica en què consisteix el desenvolupament del treball i com està estructurat aquest document. A la secció 2 es descriu el context que envolta el treball. La secció 3 repassa l'estat de l'art sobre el treball. El següent apartat desenvolupa el mètode de generació del treball i la descripció dels passos que s'han realitzat. La secció 5 mostra els resultats obtinguts de forma ordenada amb gràfiques. A la secció de les conclusions es fa un sumari dels resultats per aportar les principals troballes i discussions dels resultats, també s'afegeixen les línies de continuació del treball.

## 2. CONTEXT

La motivació del treball sorgeix de dues imposicions pròpies, el desig de col·laboració amb l'empresa *Davantis Technologies SL*, i de la meua necessitat de realitzar un projecte amb resultats pràctics reals i aplicables. Buscant aplicar aquestes premisses el Treball de Fi de Grau (TFG) va començar abans de les dates oficials. Els passos preliminars han consistit en la negociació amb l'empresa, la definició conjunta del tema del treball i la presentació de la proposta a la universitat per la seva aprovació.

En la nostra societat globalitzada la seguretat es un valor en alça, que evoluciona tecnològicament molt ràpid. En el cas que ens ocupa dotem un sistema de seguretat perimetral de noves funcionalitats amb una càmera motoritzada.

La seguretat perimetral és un camp de la seguretat que es dedica a la vigilància de les zones més exteriors al voltant d'un recinte. El vídeo anàlisi intel·ligent en seguretat perimetral consisteix en l'anàlisi de les imatges de vídeo de forma computaritzada de les càmeres que cobreixen tot el voltant del recinte per tal de detectar alguna anomalia, típicament l'intrusió d'una persona no autoritzada. Al contrari que amb d'altres tecnologies, més antigues i ambigües, sense imatges i sense meta dades, el vídeo anàlisi aporta molta més informació al vigilant de forma desatesa.

L'idea que origina el treball apareix dels comentaris aportats per alguns clients de l'empresa *Davantis*. Alguns dels usuaris del producte de vídeo anàlisi de seguretat perimetral, tenen en les seves instal·lacions càmeres motoritzades del tipus *Domo PTZ* i volen incloure-les en el sistema de vídeo-anàlisi realitzen tasques de seguretat.

El desenvolupament del treball es realitza en conveni de col·laboració de l'Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) amb l'empresa *Davantis Technologies SL* establerta a l'edifici Eureka en el campus de la mateixa universitat a Bellaterra. Aquesta empresa és una *start-up* sorgida del Centre de Visió per Computador (CVC) de la UAB. Fou creada l'any 2005 per alumnes de la UAB. Comercialitzen el sistema de detecció d'intrusos per vídeo anàlisi en entorns de seguretat perimetral. El producte es una combinació de programari especialitzat i maquinari a mida. Darrerament, l'empresa ha superat els 1000 clients de diferents mides, amb exportacions arreu del món. Aquest treball s'ha realitzat utilitzant els recursos de l'empresa. En particular el laboratori d'experimentació i test amb diferent maquinari de visió per computador.

Jordi Lluís Barba, Conseller Delegat de *Davantis Technologies SL* descriu l'aportació d'aquest treball: "Per *Davantis Technologies SL* aquest treball representa una línia d'investigació per al desenvolupament de noves funcionalitats en el sector de la seguretat perimetral.

La prova del concepte d'integració d'una càmera motoritzada dins del sistema de vídeo-anàlisi existent aporta valor afegit als nostres productes i cobreix una demanda dels nostres clients.

El control automatitzat de les càmeres *Domo PTZ*, en ser integrades al sistema de detecció d'intrusions, afegeix una capa d'eficiència en la gestió de la seguretat d'instal·lacions sensibles.

La participació de *Davantis Technologies SL* en aquest treball de fi de grau de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) de l'autor Josep Oriol Herrera Marí, permet l'aprenentatge i el creixement de totes les parts en el marc de la cooperació educativa."

## 3. ESTAT DE L'ART

Els antecedents de partida sobre el què es desenvolupa aquest estudi són el producte comercial de l'empresa *Davantis Technologies SL* [18][19] i l'experiència dels seus professionals. Aquest treball també es recolza en les eines i el entorn que proporciona la llibreria *OpenCv*. Aquest document es fonamenta en treballs anteriors on es recullen aprenentatges i idees consolidades.

*Davantis Technologies SL* dissenya, implementa, fabrica, comercialitza i dona suport a la seva solució integral i escalable, de seguretat perimetral en vídeo anàlisi, el *Daview* [Apèndix 2Foto2]. Sovint s'integra la solució amb instal·lacions locals aprofitant infraestructures ja existents de càmeres fixes o en noves instal·lacions de circuit tancat de vídeo vigilància CCTV (*closed circuit television*). El producte es presenta com el servei de seguretat més tecnològic, pro actiu i eficaç del mercat. Existeixen altres empreses que es dediquen al mateix sector algunes d'elles són *IoImage* [20] i *Sight Logix* [21]. En particular, aquesta segona empresa *Sight Logix* comercialitza un producte semblant al prototipus d'aquest treball, seguiment d'intrús per càmera *Domo* amb el suport d'una càmera fixa, però el seu calibratge es basa en coordenades GPS (*Global Positioning System*) i punts seleccionats manualment sobre les imatges de l'escena, a diferència del calibratge automàtic desenvolupat en aquest treball.

En aquest treball farem servir essencialment dues tècniques prou conegudes en l'àmbit de la visió per computador, per integrar les noves funcionalitats de seguretat. Per un costat les tècniques pel càlcul d'homografies i per l'altre les tècniques de detecció de punts característics. En aquest apartat revisarem les tècniques usades. Els mètodes de la llibreria de visió s'utilitzen sense ajustar-los, sense tunejar-los.

La base teòrica i raonaments matemàtics de la utilització de l'homografia com a funció de correspondència entre imatges s'inspira dels treballs de "Reconstrucció 3D" [1]. Per l'anàlisi d'imatges més complexes es valora la possibilitat d'utilitzar matrius fonamentals a partir del recull de punts de vista geomètrics en visió per computador [2]. Altres lectures aporten idees per l'identificació d'intrusos [3], l'utilització de múltiples càmeres [4] [5].

L'homografia [11] és la funció matemàtica que relaciona la posició dels punts d'una imatge en una altre imatge de la mateixa escena. L'obtenció de l'homografia es basa en detectar els mateixos punts en l'imatge d'origen de la funció que en l'imatge destí de la funció. L'utilitat final de l'homografia ( $H$ ) és trobar els mateixos punts de l'escena en cada una de les imatges, per establir la relació que mantenen la parella d'imatges, i les coordenades dels seus punts. En aquest treball utilitzem la homografia per determinar la zona de l'imatge destí on podem trobar l'intrús detectat en l'imatge d'origen, però també com a mètode de filtratge de la correspondència entre punts claus. El càlcul de l'homografia entre imatges, suposa l'escena d'anàlisi idealment plana [2]. Per a escenaris més complexes, no planars, i una descripció més afinada de les correspondències el recurs a utilitzar es el càlcul de la matriu fonamental que relaciona punts amb línees epipolars.

La detecció de punts característics consisteix en la detecció de zones locals dins de l'imatge que presenten punts destacables i que s'anomenen punts clau *KeyPoints*. Existeixen diferents algorismes d'obtenció de punts claus en les imatges genèricament es diuen detectors de punts. En aquest text estudiem vuit detectors diferents que estan implementats en la llibreria *OpenCv*, el programari realitzat adequa les crides a les primitives i els seus paràmetres de detecció de punts per obtenir un llistat de punts claus de l'imatge. En aquest treball analitzem els següents detectors de punts claus [8] (*features detection*): *Sift* [12], *Surf* [13], *GoodFeaturesToTrack* [14], *DenseFeature*, *FastFeature*, *SimpleBlob*, *Star*, *MserFeature*.

El segon pas, després de la obtenció dels punts clau, és caracteritzar-los assignant-los propietats per poder comparar-los entre ells. Els mecanismes de càlcul d'aquestes propietats s'anomenen extractors de descriptors dels punts claus. En aquest text estudiem dos extractors diferents que estan implementats en la llibreria *OpenCv*. El programari realitzat crida les funcions primitives i adequa els paràmetres per a l'extracció de descriptors dels punts claus. S'obté el llistat corresponent de descriptors dels punts clau de cada imatge. En el treball utilitzem els següents algorismes d'extracció de descriptors [9] (*features description*): *Sift*, *Surf*.

El tercer pas, després de la caracterització dels punts claus amb els seus descriptors és obtenir la correspondència entre els punts claus de l'imatge d'origen i els punts claus de l'imatge de destí, comparant els descriptors dels punts claus més similars. Aquest procés de correspondència [10] (*Matching*) genera una llista de parelles de punts clau d'origen i punts clau destí. En el sistema s'utilitzen els següents mecanismes de correspondència: *FlannBased*, *Brute-Force* (BF).

El quart pas, consisteix en el filtratge dels parells de punts amb correspondència, per eliminar les parelles de punts claus que tinguin un error de correspondència alt i quedar-nos amb la llista de punts claus més correcte. La llista de punts incorrectes, o amb error de projecció més alt, s'anomena (*outliers*) i la llista amb els punts més correctes s'anomena (*inliers*). En aquest treball s'han desenvolupat diferents mètodes de càlcul del triatge de punts claus, segons les seves propietats: el llindar de l'imatge, la distància euclidià entre descriptors, la distància en píxels de les parelles de correspondències, l'angle de les parelles de correspondències, el càlcul de l'homografia per mètodes *Lmeds*, càlcul de l'homografia per mètodes *Ransac*.

## 4. MÈTODE

El sistema construït es pot descriure des del punt de vista del programari i des del punt de vista físic o del *hardware* que el suporta. En aquesta secció descriurem el sistema des d'aquests dos punts de vista.

El programari del sistema construït està dividit en dues fases molt diferenciades. La primera fase correspon al calibratge del sistema i la segona correspon a la fase de seguiment de l'intrús. Les components de cada una d'aquestes fases s'il·lustren a la figura 2.

La primera fase, de calibratge del sistema, depèn de la instal·lació física de les càmeres en el món real, això és de l'òptica instal·lada, l'orientació, l'alçada, la distància de detecció són paràmetres que varien per cada espai a vigilar. El calibratge del sistema implica determinar automàticament una sèrie de paràmetres variables en el moment de posada en funcionament. Els paràmetres adquirits després esdevenen invariants al llarg del temps de funcionament del sistema de seguretat. Per això el calibratge, que només s'ha de fer una vegada inicialment, es fa en temps d'instal·lació, amb el sistema de seguiment aturat (*offline*). El procés de calibratge consisteix en obtenir computacionalment els elements de càlcul necessaris per a posteriori fer més efectiu i ràpid el procés de seguiment de l'intrús. El calibratge semiautomàtic del sistema és format per tres etapes diferenciades.

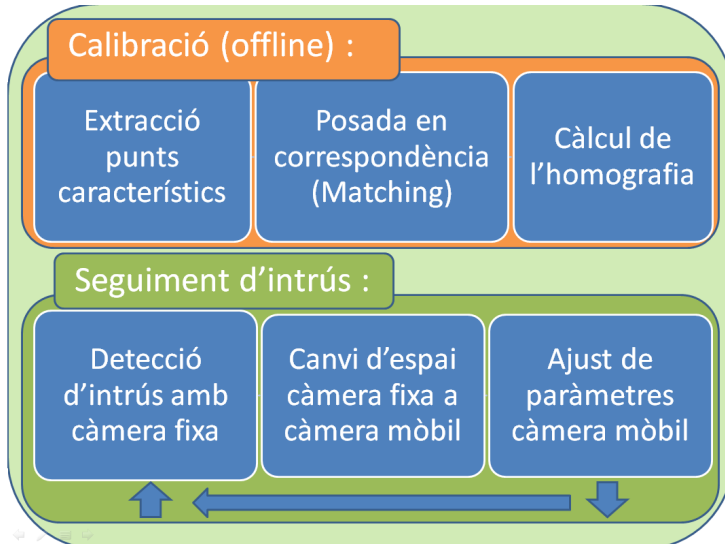


Fig. 2: Esquema funcional del sistema desenvolupat.

La primera etapa implementada obté la detecció de punts claus i l'extracció de descriptors dels punts de les imatges. La següent etapa posa en correspondència els punts claus de les imatges. La darrera etapa tria els punts clau més adients i calcula la funció matemàtica que relaciona els punts seleccionats, es calcula l'homografia entre les imatges [11].

La segona fase de seguiment de l'intrús, utilitza les dades obtingudes en la fase inicial. El sistema en estat de repòs espera la detecció de l'intrús del producte comercial de seguretat perimetral de *Davantis Technologies SL*. L'activació del sistema proporciona constantment les coordenades de l'intrús en la càmera fixa que es transformen, gràcies al calibratge previ, ràpidament en coordenades de posicionament dels motors de la càmera motoritzada. Re-alimentant novament aquest llaç amb les coordenades de la nova posició de l'intrús s'aconsegueix l'efecte del seguiment.

$$x_{i,j} = H \cdot x_{x,y} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} i \\ j \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

El mecanisme que utilitza aquest treball és la relació automàtica que permet identificar computacionalment com a mínim quatre punts de l'escena en les dues imatges diferents. Aquest fet permet extrapolar una funció injectiva (2D->2D) que des de qualsevol punt del seu domini proporciona un punt de correlació amb l'imatge destí. La funció matemàtica (Equació 1) (Equació 2) que relaciona les coordenades homogènies (x,y,1) dels punts de l'imatge de la càmera fixa amb les coordenades homogènies (i,j,1) dels mateixos punts de la càmera *Domo* es diu homografia, per a casos on les escenes són planes o les càmeres comparteixen el mateix centre òptic. Per escenes més complexes s'utilitza com a eina matemàtica les matrius fonamentals per reduir el problema de la correspondència entre plans imatge.

En el sistema construït s'utilitzen els següents algorismes que serviran per filtrar els punts característics que es faran servir: el *lindar de l'imatge*, la *distància euclidiana entre descriptors*, la *distància entre les posicions dels punts claus*, l'*angle entre posicions de parelles de punts claus*, el càlcul de l'homografia per mètodes *Lmeds* [24], càlcul de l'homografia per mètodes *Ransac* [24].



Fig. 3: Matching de punts claus.

El *lindar de l'imatge*, és un algorisme de triatge de punts clau basat en la posició d'aquest punts propers als extrems de l'imatge, desenvolupament aquest treball. Aquests punts són susceptibles de donar problemes ja que els seus descriptors es veuen mancats de l'informació que es perd en els extrems de les imatges. Aquest mètode elimina els punts claus massa propers al *lindar de l'imatge* per totes les orientacions. Aquest filtre sempre s'aplica per garantir les millors dades.

La *semblança entre descriptors de punt clau*, és un algorisme de triatge de punts clau basat en la distància euclidiana entre descriptors, que són vectors de 128 posicions. En aquest treball, l'algorisme és degudament implementat. Una vegada obtinguda aquesta distància dels descriptors per totes les parelles de correspondències es calcula la desviació estàndard de les mesures i s'aparten de la llista les parelles de correspondència que no són suficientment properes.

La *distància entre les posicions dels punts clau*, és un algorisme de triatge de punts clau basat en la distància en el pla que separa la parella de punts claus, que s'implementa en aquest treball. Aquest mètode de triatge pren com a premissa bàsica que la distància euclidiana entre punts de correspondència de ambdues imatges es manté molt similar per les parelles de correspondència correctes. Una vegada obtinguda aquesta distància de les coordenades de punts claus de totes les parelles de correspondències es calcula la desviació estàndard de les mesures i s'aparten de la llista les parelles de correspondència que no són suficientment properes.

L'*angle entre posicions de parelles de punts claus*, és l'algorisme de triatge de punts clau basat en l'angle de la línia imaginària entre les parelles de punts clau. L'algorisme està implementat per aquesta ocasió. El mètode pren com a premissa que l'angle de la línia que formen els punts de correspondència de ambdues imatges es manté molt similar per les parelles de correspondència correctes. Una vegada obtinguda la mesura de l'angle per totes les parelles de correspondència, s'aparten de la llista les parelles on la seva desviació estàndard de l'angle no és suficientment propera. Aquest mètode de triatge només és fiable per a escenes d'escala similars, que mantenen l'angle de les parelles de punts similar, sense convergir cap a un punt.

L'*homografia*, és l'algorisme que genera una funció que relaciona els punts de l'imatge principal amb els punts de l'altre imatge gràcies a unes parelles de correspondència recollides prèviament. Segons la definició d'homografia, extreta de la *WikiPedia* [10]: "En geometria es denomina homografia a tota transformació projectiva que determina una correspondència entre dues figures geomètriques planes, de forma que a cada un dels punts i de les rectes d'una d'elles li corresponen, respectivament, un punt i una recta de l'altre."

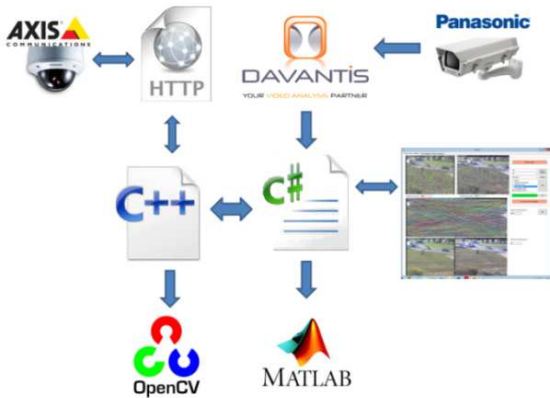


Fig. 4: Arquitectura interna del sistema

El mètode de càlcul d'homografia també s'utilitza com algorisme de triatge de punts clau. Existeixen dos processos de càlcul d'homografia, implementats en la llibreria *OpenCv*: *Lmeds*, *Ransac*. El càlcul de *Lmeds* és la forma exhaustiva d'obtenir la millor homografia a partir del càlcul de la mitjana estadística d'errors en la reprojecció dels punts clau. *Ransac* és la forma iterativa i adaptativa a partir de la reprojecció d'agrupacions de punts clau fins trobar el menor error.

Fins aquí hem descrit el programari del sistema construït, ara ens centrarem en l'estructura física del sistema que està format per dues càmeres, una motoritzada i una fixa en un trípod, simulant una instal·lació real.

La càmera motoritzada del tipus Domo PTZ és una Axis 232D+ Network Dome Camera [Apèndix2Foto1] amb comunicacions IP (Internet Protocol), que disposa d'una xarxa de comunicacions IP amb tota l'infraestructura de xarxa per a la gestió del laboratori. Aquesta càmera es controla amb instruccions [6] a través del protocol HTTP (Hypertext Transfer Protocol).

La càmera fixa és Panasonic WV-CP500 [Apèndix2Foto 1], de tipus analògic, aquesta característica permet que la transmissió de imatges sigui més ràpida i no existeixin retards deguts al protocol. Inicialment, també es va utilitzar la càmera fixa Panasonic WV-SP306 [Apèndix 2Foto3], de menys qualitat d'imatge. La comunicació analògica també permet evitar el problema de la sincronització amb les imatges de l'altre càmera. La mateixa càmera analògica connectada a un vídeo server que proporciona imatges sobre IP es veu molt retardada en el flux d'imatges respecte la càmera motoritzada. La càmera fixa Panasonic està connectada al producte de Davantis per la detecció d'intrusos. El producte configurat i parametritzat fa la detecció de l'intrús i proporciona coordenades de la posició dins l'imatge analitzada.

El cor del sistema és el programari desenvolupat en C++ (Microsoft Visual Studio 2010 Ultimate), que implementa l'interfície de control de la càmera PTZ, també fa les crides a les funcions de la llibreria de gestió d'imatges *OpenCv* 2.4.8. [7] S'utilitza aquesta llibreria i els serveis que proporciona per a efectuar els càlculs i manipulacions de visió per computador. El mòdul C++ s'enllaça amb un mòdul en C# (C Sharp) que gestiona l'interfície gràfica per interactuar i controlar el sistema. Des d'aquest mòdul es generen els fitxers de resultats que posteriorment s'analitzen en *Matlab* i *MsExcel*, finalment des de aquest mòdul també es fa efectiu el treball de seguiment de l'intrús.

A les següent subseccions entrarem en els detalls del programari desenvolupat tant pel calibratge com pel seguiment.



Fig. 5: Graus de llibertat Pan Tilt Zoom

#### 4.1. CALIBRATGE

La fase de calibratge és la part d'obtenció dels valors per a posteriorment realitzar el seguiment de l'intrús. Aquesta fase consisteix en generar les taules de transformació de les coordenades per poder obtenir els paràmetres finals de posicionament de la càmera motoritzada. En una situació real el calibratge es realitza en temps de instal·lació del sistema de seguretat. Una vegada tot el maquinari està en la seva posició, les càmeres fixades en els seus suports, el cablejat de comunicacions estructurat, l'il·luminació diürna i nocturna col·locada, els ordinadors amb el vídeo anàlisi configurat, procedim a la fase de calibratge del nostre sistema amb càmeres motoritzades. El procés de calibratge es realitza amb el sistema de seguretat desconnectat (*offline*) per un tècnic especialitzat amb formació sobre el producte de Davantis Technologies SL. El calibratge, de fet, consisteix en l'obtenció de dues taules de transformació de coordenades entre diferents espais de representació.

La implementació del procés de calibratge està realitzat en llenguatge C++, utilitzant sempre que sigui possible la llibreria de manipulació de imatges *OpenCv*. Aquesta llibreria de funcions sobre imatges proporciona per una mateixa finalitat diferents maneres de realitzar els càlculs, diferents algorismes ja codificats. El programa implementat recull les imatges expressades com a matrius, ja que és l'estructura de dades principal de la llibreria *OpenCv*. Les crides a les funcions de la llibreria es codifiquen amb els seus paràmetres degudament expressats per obtenir novament les matrius resultants amb valors adients.

La primera taula de transformació de coordenades, relaciona les coordenades homogènies  $(x,y,1)$  de la càmera fixa amb les coordenades homogènies  $(i,j,1)$  dels mateixos punts a la càmera motoritzada. Aquesta transformació de coordenades es defineix a partir del càlcul de la homografia entre les dues imatges. Aquesta taula depèn directament del contingut de les imatges, de la capacitat del programari per trobar-ne els punts de correspondència. De nou l'obtenció d'aquesta taula es divideix en parts més senzilles. El primer pas és obtenir els punts clau, els punts més rellevants de cada una de les imatges.

La segona taula de transformació de coordenades, relaciona les coordenades  $(i,j)$  de la càmera motoritzada [Fig. 5] amb els angles (alfa, beta) de posicionament dels motors de la càmera. Aquesta taula s'obté de fer la correspondència dels punts de la imatge amb la posició de la càmera motoritzada que els hi correspon.



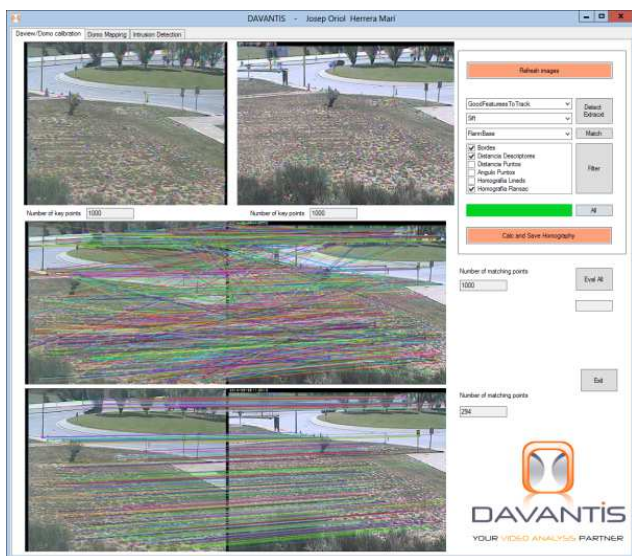


Fig. 6: Interfície d'experimentació de mètodes.

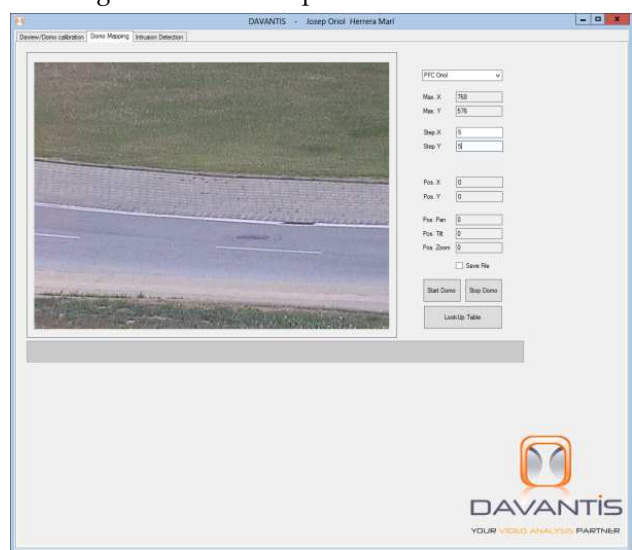


Fig. 7: Interfície de Mapping



Fig. 8: Interfície de seguiment d'intrús.

implementat en C# (C Sharp). Bàsicament, s'han desenvolupat tres pestanyes, les dues primeres de calibratge, i la darrera mostra el resultat de l'aplicació.

La primera pestanya [Fig. 5] s'encarrega de combinar els diferents mètodes de manipulació de les imatges per aconseguir la taula que descriu la homografia. La taula no es res més que una matriu de dues dimensions (que coincideixen amb les coordenades de la imatge) i conté com a valors dos números corresponents a les coordenades transformades per l'homografia calculada. La transformació de les coordenades és la multiplicació de la matriu homografia per el vector de coordenades del punt analitzat i s'obté com a resultat un altre vector de coordenades del punt de l'imatge destí. Per mantenir la compatibilitat amb diferents mides d'imatge, la matriu de l'homografia es multiplica a cada costat de l'expressió per la mida de les imatges a tractar de manera que es compensa l'escala de les imatges i es generalitza el càlcul per a qualsevol resolució.

La segona pestanya [Fig. 6] construeix la segona taula que trasllada les coordenades de la imatge als angles de la càmera motoritzada. En aquest cas la taula també consisteix en una matriu bidimensional on les seves dimensions corresponen amb les coordenades de la càmera robotitzada (amb moviment) i les dades contingudes representen dos valors que són els angles que s'envien a la càmera motoritzada per el seu posicionament efectiu l'espai tridimensional. Ara l'escena de l'imatge no és important, tan sols es busca la relació mecànica entre les coordenades imatge i les coordenades espacials *Pan* i *Tilt*, orientació vertical i orientació horitzontal. Però el que sí que cal és la posició de partida inicial de la *Domo PTZ* per conèixer la seva orientació respecte la càmera fixa. Per a construir aquesta taula de translació la càmera ha de tenir la capacitat de l'odometria [22] normalment associada a la robòtica.

L'odometria en robòtica es la capacitat dels robots per estimar la seva pròpia posició relativa a la seva posició inicial. En aquest cas la càmera robotitzada permet posicionar-la en unes coordenades de l'imatge, per després consultar i guardar els paràmetres del seu posicionament físic. Així aconseguim els angles en que es troben els seus codificadors rotatoris (*encoders*) [23] expressats en unitats de grau.

El procés de *Mapping* recorre tot els punts de l'imatge, garanteix la estabilitat del posicionament mecànic, i captura les dades odomètriques. El *Mapping* es converteix en un procés molt llarg donada la gran quantitat de punts d'una imatge i el retard en el posicionament físic real dels motors de la càmera robotitzada. Per aquesta raó hem discretitzat els punts de la imatge a obtenir la odometria per anar més ràpid. Les característiques dels motors, i els seu pas de gir mínim de motor (la seva precisió) força que a aproximadament dotze punts consecutius de l'imatge tenen les mateixes coordenades angulars (dada obtinguda experimentalment). Per això podem mostrejar els valors de posicionament angular cada cinc o sis píxels de l'imatge estan segurs de no perdre representació d'aquest valors. Després de realitzar diferents experiments mostrejant els valors obtinguts de la odometria també observem que són valors de distribució simètrica al llarg de l'imatge, característica

La manipulació de tots aquest paràmetres i la presentació de resultats s'aconsegueix amb el mòdul de l'aplicació

que ens permet reduir el mostreig a la meitat, i replicar l'altre meitat per simetria. El resultat utilitzant el mostreig cada 5 píxels i la simetria permet agilitza molt la construcció del la taula de translació de coordenades de punts de l'imatge als paràmetres angulars de la càmera robotitzada.

## 4.2. SEGUIMENT

La fase de l'aplicació del seguiment de l'intrús [Fig. 7] simplement utilitza les dues taules generades en temps del calibratge per a fer dues traduccions d'espais de coordenades en temps real. Com les taules estan construïdes com a matrius coincidint les seves dimensions amb les coordenades de les imatges, per obtenir els valors simplement llegim els valors que contenen les matrius i ja tenim la traducció al següent espai de coordenades. El seguiment de l'intrús comença per la detecció de l'intrús per part del Daview, el sistema de detecció d'intrusos de Davantis Technologies SL.

L'aplicació rep un esdeveniment de detecció d'intrús amb meta dades que indiquen el rectangle on es troba contingut el intrús detectat. Amb aquesta informació del rectangle de l'intrús busquem el centre de gravetat del rectangle per poder centrar el seguiment en aquest punt, però si ens interessa més la cara de l'intrús podem centrar el seguiment en el límit superior del rectangle, o si per el contrari estem interessats en analitzar per on circula l'intrús podem decidir centrar el seguiment en el punt més baix del rectangle (els peus).

El sistema funciona sota el paradigma del productor\consumidor. El productor, produeix avisos de detecció d'intrús amb les seves coordenades. Mentre per l'altre banda el consumidor, consumeix les coordenades per tal de traslladar-les segons les taules obtingudes en temps de calibratge i posicionar la càmera robotitzada.

Inicialment els avisos s'encuen en una llista i es van utilitzant per ordre per posicionar la càmera robotitzada. Però aquest sistema no funciona, ja que la càmera triga en posicionar-se uns instants, i la cua s'omple més rapid del que es buida. D'aquesta manera el seguiment sempre va endarrirrit, posicionant la càmera a coordenades anteriors que ja no són vàlides en temps real. La solució adoptada és deixar passar el avisos de detecció mentre la càmera està ocupada i quan es queda lliure, llavors és recullen les coordenades de l'últim avís, tractant les coordenades quasi al vol i perden les anteriors que ja no són actualment vàlides.

Per el control del Zoom es fa servir una estratègia diferent molt senzilla. En el càlcul del valor del Zoom dividim la imatge en diferens regions horitzontals i quan l'intrús és en una regió més allunyada augmentem el Zoom. Quan la regió on es troba el intrús, és en la part inferior de la imatge, llavors el valor del Zoom disminueix proporcionalment o de forma esglaonada.

## 5. RESULTATS

Els resultats del treball es presenten en dues parts.

L'avaluació qualitativa on es mostren les imatges de seguiment efectiu de les persones detectades. Es mostren les imatges on es veu la detecció realitzada per el sistema de segu-

retat de *Davantis Technologies SL* emmarcant l'intrús en un rectangle, i la seva parella on es veu la mateixa persona més propera seguida per la càmera motoritzada, en les fig.9 i fig.10.



Fig. 9: Detecció i seguiment d'intrús.



Fig. 10: Detecció i seguiment d'intrús.

L'avaluació quantitativa es deriva de les dades recollides després d'una sèrie d'experiments que perssegueixen avaluar quina és la millor combinació d'algorismes de tots els que s'han desenvolupats. S'han fet un total de 100 experiments [Apèndix 1]. Un experiment consta de la captura de les imatges a analitzar, i l'aplicació de les nou combinacions de processos i l'obtenció de la homografia resultant. Per avaluar els resultats obtinguts en el sistema, i comparar els diferents mètodes, es recullen tres indicadors de qualitat sobre la homografia obtinguda. La avaluació es centra en nou combinacions dels mètodes aplicats, per detectar la millor combinació de mètodes pel nostre procés. Les nou hipòtesis de treball són combinacions dels algorismes més habituals i amb més possibilitats d'èxit, segons l'estudi [25][26].

Els mètodes d'extracció de punts claus utilitzats són els tres principals: *Surf*, *Sift*, *GoodFeaturesToTrack*. L'extractor de descriptors utilitzat és *Sift*. L'algorisme de correspondència entre punts claus valorat és *FlannBased*, ja que és més ràpid que *BF* (*Brute Force*).



**Punts  
(inliers)**

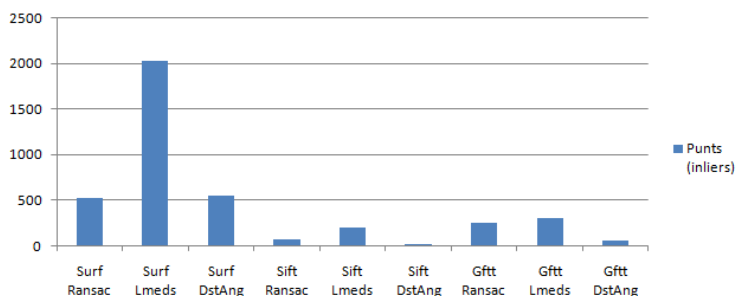


Fig. 11: Quantitat de punts clau per mètode (Inliers).

**Error  
(pixels)**

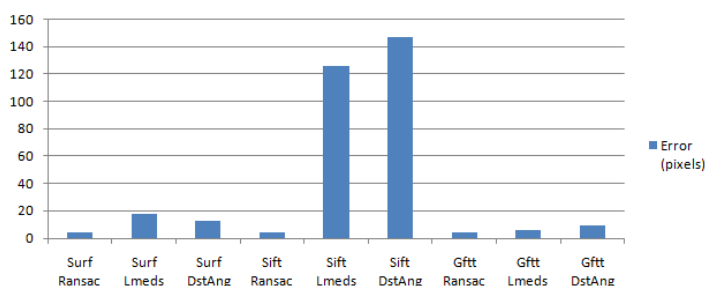


Fig. 12: Error de reprojecció en píxels per Inliers.

**Entropia  
(normalitzada)**

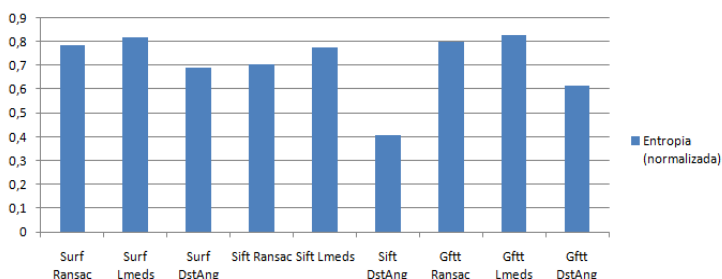


Fig. 13: Entropia normalitzada.

Els mètodes de selecció de correspondències entre punts claus correctes comparats són tres, la homografia per *Ransac*, l'homografia per *Lmeds*, i la suma dels mètodes de distància i angle implementats. A més, a cada un dels processos de filtratge també s'aplica sempre el filtratge de les vores de l'imatge, i de la distància euclidiana dels descriptors. En definitiva, tres mètodes de detecció de *KeyPoints*, un mètode de *Features Description*, un mètode de *Matching*, i tres mètodes de filtratge de *Inliers*, generen nou combinacions possibles d'estudi.

L'estimació de la qualitat de la funció de traducció de coordenades, la qualitat de l'homografia es caracteritza per tres indicadors dels experiments realitzats. Aquests paràmetres de control són la quantitat de punts claus correctes (*Inliers*), l'error de la reprojecció dels *Inliers*, i la dispersió dels punts en l'imatge.

L'error de reprojecció (Equació 3) dels *Inliers* mesura la distància en píxels per correspondència en l'imatge. El valor s'obté de la norma de la diferència de reprojecció dels punts claus ( $x_i$ ) aplicant de nou l'homografia ( $H$ ), amb els punts claus ( $x_i'$ ) aconseguits originalment. El sumatori d'aquesta distància, ponderat per el nombre dels *Inliers* existents, expressat en píxels per correspondència, convé que sigui el menor valor possible, per maximitzar l'exactitud de la homografia.

$$Error = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N |x_i' - Hx_i| \quad (3)$$

La dispersió dels *Inliers* en l'imatge (Equació 4), la seva distribució homogènia a la imatge és un criteri de control molt important que mesura la qualitat de la homografia. L'índex utilitzat per analitzar la dispersió dels *Inliers* en l'imatge és el càlcul de l'Entropia de Shannon, aplicada a la probabilitat ( $P(x_i)$ ) de què tots els *Inliers* es trobin distribuïts a la imatge. A més entropia, més quantitat d'informació, més dispersió dels *Inliers*, l'homografia descriu millor la relació entre totes les parts de la imatge i no només d'una zona concreta. Per calcular l'entropia dels punts de la imatge, calculem la probabilitat de cada punt d'estar situat en una casella concreta d'una quadrícula de cent caselles ( $c$ ) en l'imatge. El valor de la entropia es normalitza per obtenir un índex entre 0 i 1 de la bondat de l'homografia.

$$Entropia_{Shannon} = - \sum_{i=0}^c P(x_i) \cdot \log P(x_i) \quad (4)$$

Les dades presentades es basen en cent experiments repetits, distribuïts al llarg del dia, en condicions canviants d'il·luminació, com en una situació real. Per cada experiment es capturen el parell d'imatges de la càmera fixa i la càmera motoritzada, es sotmeten a les nou combinacions d'obtenció d'homografia, i finalment s'avaluen les dades resultants segons els tres paràmetres de control.

Les dades obtingudes es processen en *Excel* i *Matlab* per obtenir les medianes dels valors i les gràfiques descriptives dels resultats.

A la gràfica de la fig.11 mostrem la quantitat mediana dels *Inliers* trobats en cada combinació de mètodes per tots els experiments. A la gràfica de la fig.12 mostrem la mediana de l'error de reprojecció dels *Inliers* trobats en cada combinació de mètodes per tots els experiments. A la gràfica de la fig.13 mostrem la mediana normalitzada de l'entropia dels *Inliers* trobats en cada combinació de mètodes per tots els experiments.

## 6. CONCLUSIONS.

Les conclusions de la prova de concepte realitzada en aquest projecte es poden resumir en els següents punts:

- El sistema conjunt de detecció, seguiment i focalització d'intrús desenvolupat funciona correctament.
- El procés de calibratge és compatible amb la integració en una solució professional.



- L'ús de l'homografia es presenta com una valuosa eina per l'anàlisi de vídeo vigilància.

Les gràfiques de resum dels resultats indiquen que el mètode més adient per a la detecció de punts és el *GoodFeaturesToTrack*. Això és perquè té una mediana de píxels/*inliers* de errors mínima i una entropia normalitzada de les més altes. El mètode de *Surf* també té valors d'error similarment baixos i també podria ser utilitzat per a la detecció de punts, sobretot perquè genera més *inliers* i pot descriure millor la homografia amb molta entropia. El mètode de *Sift* té nivells de error molt superiors i no seria aconsellable la seva utilització. Clarament l'algorisme de triatge de correspondències amb menor error i elevada entropia correspon a l'homografia *Ransac*.

La millor combinació de mètodes per a l'obtenció de l'homografia i per tant de la taula de translació de coordenades homogènies  $(x,y,1)$  de la càmera fixa a les coordenades homogènies  $(i,j,1)$  de la càmera motoritzada és:

- Detecció de *KeyPoints* ..... *GoodFeaturesToTrack*
- Extracció de descriptors ..... *Sift*
- *Matching* de *KeyPoints* ..... *FlannBased*
- Filtratge de correspondències ..... *Homografia Ransac*

Les futures Líneas de continuació del treball obren múltiples possibilitats i noves funcionalitats de seguretat que resumim tot seguit:

- Comparació aplicant matrius fonamentals.
- Establir la sincronització temporal d'imatges de les càmeres.
- Integració en un producte comercial de vídeo anàlisi.
- Ampliació de l'estudi amb càmeres tèrmiques.
- Generalització d'una càmera a múltiples càmeres fixes.
- Possibilitat d'identificació per reconeixement de cares.
- Creació de mapes visuals de l'activitat de l'intrús.

## AGRAÏMENTS

Agraïment especial a l'empresa *Davantis Technologies SL*, per l'oportunitat de col·laborar amb ells i utilitzar els seus recursos i instal·lacions, agrair també al personal de l'empresa el seu acolliment.

L'autor agraeix les aportacions i els consells del tutor de l'empresa (Nicolás Herrero) per la seva dedicació i excel·lència.

Agraïment al tutor acadèmic del treball (Maria Vanrell) per la confiança dipositada i la seva supervisió constant del treball.

Agrair, també, les relectures del text, crítiques i consells del meu germà (Sergi Herrera).

El temps i el suport per fer possible aquest treball de fi de grau, es deuen en gran mesura en la confiança i l'alè rebuts de la meua família, i sobretot amb el recolzament i la paciència de la meua companya (Victoria Fernández), a els què estic molt agraït.

## GLOSSARI

*Centre de Visió per Computador (CVC)*: Centre d'investigació fundat en 1995 en el campus de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), per investigar, formar i transferir coneixements en visió per computador.

*Davantis Technologies SL*: Empresa fundada en 2005. En el sector d'anàlisi de vídeo per a vigilància.

*Daview*: Producte comercial de l'empresa de Davantis Technologies SL de vídeo anàlisi per vigilància perimetral per detectar persones i vehicles.

*Desviació Standard*: Mesura estadística de dispersió d'una variable, és el promig o variació esperada respecte de la mitja aritmètica.

*Entropia de Shannon*: En el àmbit de la teoria de la informació, és la mesura de la incertesa d'una font d'informació, en altres àmbits també s'utilitza com la mesura del desordre.

*Features description*: Descripció de característiques (en anglès). En visió artificial i processament d'imatge, detecció de característiques es refereix als mètodes de càlcul d'extracció d'informació de l'imatge.

*Features detection*: Detecció de característiques (en anglès). En OpenCv és objecte que embolcalla diferents algorismes per detectar punts claus en imatges.

*Homografia*: Transformació en geometria projectiva que conserva la naturalesa dels elements transformats, un punt es manté com un punt, una recta es manté com una recta, un pla es manté com un pla.

*Inliers*: En estadística valors típics. En visió artificial, objectes que si compleixen alguna condició o propietat. En aquest document són punts claus que si son correctes.

*KeyPoints*: Punts claus (en anglès). Referit a la visió per computador, són els punts més importants d'una imatge. En OpenCV és un objecte, una estructura de dades amb les coordenades de un punt en l'imatge.

*Mediana*: En estadística, representa el valor de la variable de posició central en un conjunt de dades ordenades.

*Odometria*: Estudi de la estimació de la posició relativa de robots respecte la seva posició inicial

*OpenCV*: Open Source Computer Vision. Biblioteca lliure proporciona eines de visió artificial, originalment desenvolupada per Intel.

*Outliers*: En estadística valors atípics. En visió artificial, objectes que no compleixen alguna condició o propietat. En aquest document són punts claus que no son correctes.

*PTZ (Pan/Tilt/Zoom)*: Acrònim de *Pan Tilt Zoom* (en anglès) i és refereix a les propietats de moviment en el pla horitzontal, en el pla vertical i en l'apropament o l'allunament. Aplicat a una càmera descriu els graus de llibertat que pot realitzar.

*Start-up*: Concepte empresarial que es refereix a empreses emergents en procés de construcció, sovint son del sector tecnològic o de forta innovació però amb pocs recursos i finançament.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Guillermo Gallego Bonet, “**Sistema de autocalibración de cámaras y reconstrucción 3D**”, UPM (ETSIT), Proyecto final de carrera, 2004-Feb.
- [2] R.Hartley and A.Zisserman “**Multiple View Geometry in Computer Vision**”, Cambridge Univ. Press, CambridgeUK, 2003. [<http://books.google.es/books?hl=ca&lr=&id=si3R3Pfa98QC&oi=fnd&pg=PR11&dq=Multiple+View+Geometry+in+Computer+Vision&ots=aRo-jr9ccR&sig=q4RA3ZIS7tA3j-uYrQRvJE44rjw#v=onepage&q=Multiple+View+Geometry+in+Computer+Vision&f=false>]
- [3] Aswin C. Sankaranarayanan, Ashok Veeraraghavan and Rama Chellappa, “**Object Detection, Tracking and Recognition for Multiple Smart Cameras**”, Proceedings of the IEEE, Vol. 96, No. 10, October 2008. [<http://www.umiacs.umd.edu>]
- [4] Chris Stauffer and Kinh Tieu, “**Automated multi-camera planar tracking correspondence modeling**”, Artificial Intelligence Laboratory, MIT, Cambridge, MA, 02139. [<http://glorfindel.mavrinac.com>]
- [5] Chung-Hao Chen, Yi Yao, David Page, Besma Abidi, Andreas Koschan and Mongi Abidi, “**Heterogeneous Fusion of Omnidirectional and PTZ Cameras for Multiple Object Tracking**”, IEEE Transactions on circuits and systems for video technology, vol. 18, no. 8, August 2008. [<http://iristown.engr.utk.edu>]
- [6] 2004-April-22, “**Axis Video API, HTTP – Interface Specification**”, Revision 1.14, (on line), [[http://www.axis.com/techsup/cam\\_servers/dev/cam\\_http\\_api.php](http://www.axis.com/techsup/cam_servers/dev/cam_http_api.php)], últ.visita 2014-Feb-19.
- [7] “**OpenCV Tutorials**”, (on line), [<http://docs.opencv.org/doc/tutorials/tutorials.html>], últ.visita 2014-Feb-19.
- [8] “**OpenCV: Feature Detection & Description**”, (on line), [[http://docs.opencv.org/modules/nonfree/doc/feature\\_detection.html](http://docs.opencv.org/modules/nonfree/doc/feature_detection.html)], últ.visita 2014- Abr -20.
- [9] “**OpenCV: Common Interfaces of Feature Detectors**”, (on line), [[http://docs.opencv.org/modules/features2d/doc/common\\_interfaces\\_of\\_feature\\_detectors.html](http://docs.opencv.org/modules/features2d/doc/common_interfaces_of_feature_detectors.html)], últ.visita 2014- Abr -20.
- [10] “**OpenCV: Common Interfaces of Descriptor Matchers**”, (on line), [[http://docs.opencv.org/modules/features2d/doc/common\\_interfaces\\_of\\_descriptor\\_matchers.html](http://docs.opencv.org/modules/features2d/doc/common_interfaces_of_descriptor_matchers.html)], últ.visita 2014- Abr -20.
- [11] “**OpenCV: Feature Matching + Homography to find Objects**”, (on line), [[http://docs.opencv.org/doc/tutorials/features2d/feature\\_homography/feature\\_homography.html](http://docs.opencv.org/doc/tutorials/features2d/feature_homography/feature_homography.html)], últ.visita 2014- Abr -20.
- [12] Lowe, D. G., “**Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints**”, [[http://cgibit.nutn.edu.tw:8080/cgit/PPTDL/WWWD\\_091222065406.PDF](http://cgibit.nutn.edu.tw:8080/cgit/PPTDL/WWWD_091222065406.PDF)] International Journal of Computer Vision, 60, 2, pp. 91-110, 2004.
- [13] Herbert Bay, Tinne Tuytelaars, Luc Van Gool, “**SURF: Speeded Up Robust Features**”, ETH Zurich, Katholieke Universiteit Leuven, 2008 [[ftp://ftp.vision.ee.ethz.ch/publications/articles/eth\\_biwi\\_00517.pdf](ftp://ftp.vision.ee.ethz.ch/publications/articles/eth_biwi_00517.pdf)], últ.visita 2014-Mar-06.
- [14] J. Shi and C. Tomasi (June 1994). “**Good Features to Track**”, [<http://www.ai.mit.edu/courses/6.891/handouts/shi94good.pdf>], 9th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Springer. (The Shi and Tomasi corner detector).
- [15] “**Homografía (geometría)**”, (on line), [[http://es.wikipedia.org/wiki/Homografía\\_\(geometría\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Homografía_(geometría))], últ.visita 2014-Feb-19.
- [16] C.E. Shannon, “**A Mathematical Theory of Communication**”, Bell System Technical Journal, vol. 27, pp. 379–423, 623-656, July, October, 1948
- [17] “**Entropy (information theory)**”, (on line), [[http://en.wikipedia.org/wiki/Entropy\\_\(information\\_theory\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Entropy_(information_theory))], últ. Visita 2014-Jun-03.
- [18] “**YouTube, Presentacion DAVANTIS 2013**”, (on line), [[https://www.youtube.com/watch?v=\\_zX\\_-Oh4cjY](https://www.youtube.com/watch?v=_zX_-Oh4cjY)], últ. Visita 2014-Jun-15.
- [19] “**YouTube, Davantis: soluciones profesionales de análisis de vídeo**”, (on line), [<https://www.youtube.com/watch?v=ndEWhFfc8Fg>], últ. Visita 2014-Jun-15.
- [20] “**dvtel: lolmage Video Analytics**”, (on line), [<http://www.dvtel.com/products-solutions/video-analytics>], últ. Visita 2014-Jun-15.
- [21] “**SightLogix Video Perimeter Security System**”, (on line), [<http://www.dvtel.com/products-solutions/video-analytics>], últ. Visita 2014-Jun-15.
- [22] “**Odometría**”, (on line), [<http://es.wikipedia.org/wiki/Odometría>], últ. Visita 2014-Jun-03.
- [23] “**Rotary encoder**”, (on line), [[http://en.wikipedia.org/wiki/Rotary\\_encoder](http://en.wikipedia.org/wiki/Rotary_encoder)], últ. Visita 2014-Jun-03.
- [24] “**OpenCv: findHomography**”, (on line), [[http://docs.opencv.org/modules/calib3d/doc/camera\\_calibration\\_and\\_3d\\_reconstruction.html](http://docs.opencv.org/modules/calib3d/doc/camera_calibration_and_3d_reconstruction.html)], últ. Visita 2014-Jun-03.
- [25] “**Comparison of the OpenCV’s feature detection algorithms**”, (on line), [<http://computer-vision-talks.com/articles/2011-01-04-comparison-of-the-opencv-feature-detection-algorithms>], últ. Visita 2014-Jun-03.
- [26] “**Evaluation of Local Detectors and Descriptors for Fast Feature Matching**”, (on line), [<http://miksik.co.uk/papers/miksik2012icpr.pdf>], últ. Visita 2014-Jun-03.

## APÈNDIX

### A1. GRÀFIQUES

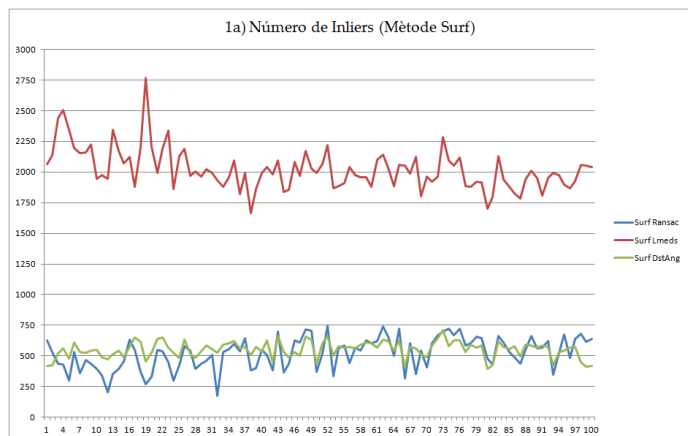


Fig. 1a: 100 Experiments, gràfica del nombre de Inliers (Surf).

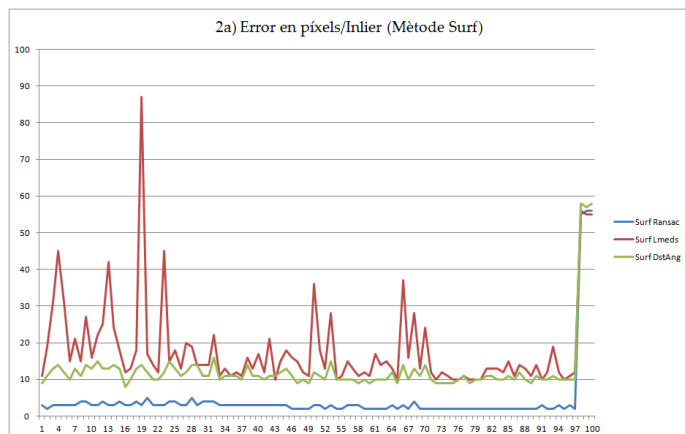


Fig. 2a: 100 Experiments, gràfica dels errors (en píxels)(Surf)

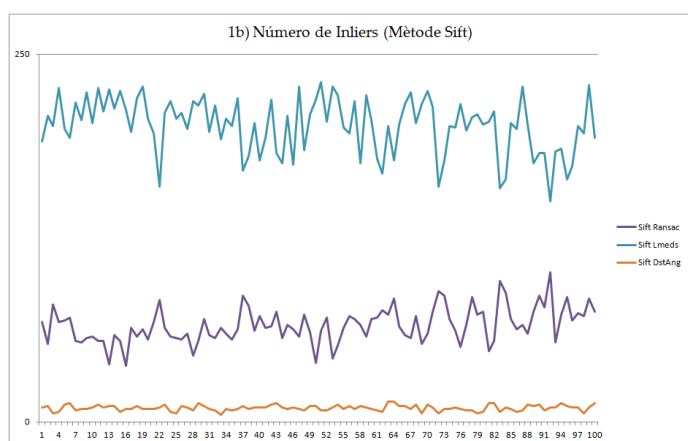


Fig. 1b: 100 Experiments, gràfica del nombre de Inliers (Sift)

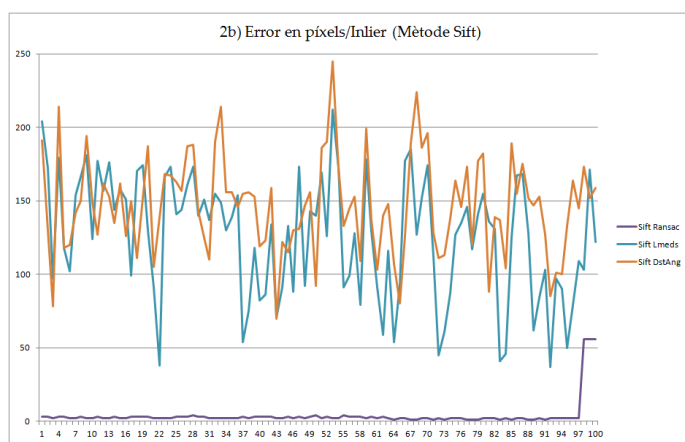


Fig. 2b: 100 Experiments, gràfica dels errors (en píxels)(Sift).

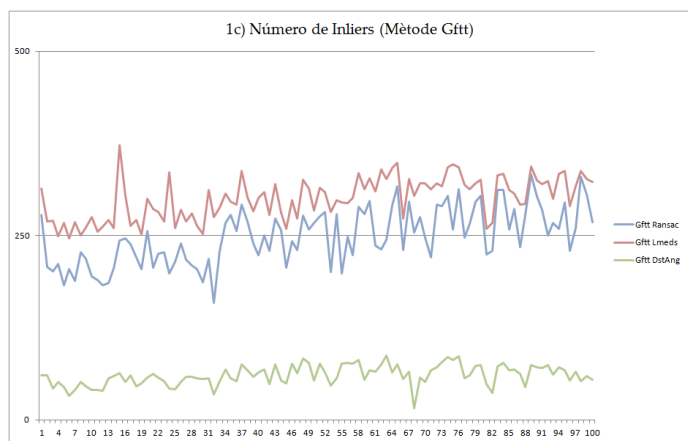


Fig. 1c: 100 Experiments, gràfica del nombre de Inliers (Gfft)

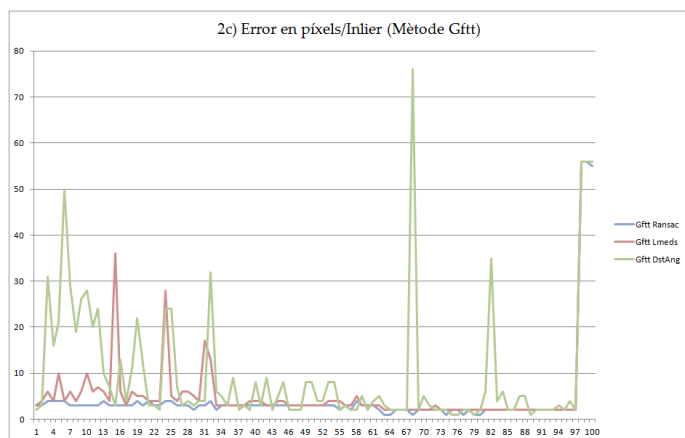


Fig. 2c: 100 Experiments, gràfica dels errors (en píxels)(Gfft).

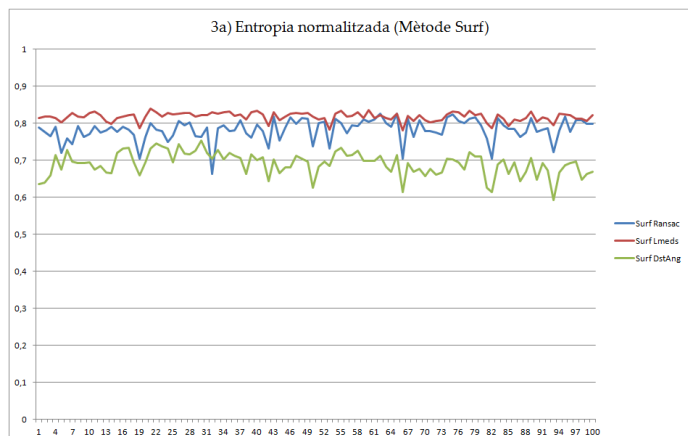


Fig. 3a: 100 Experiments, gràfica de la entropia (normalitzada)(Surf)

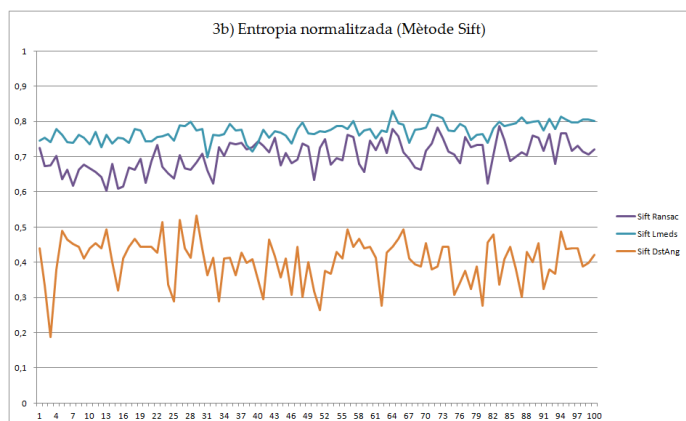


Fig. 3b: 100 Experiments, gràfica de la entropia (normalitzada)(Sift)

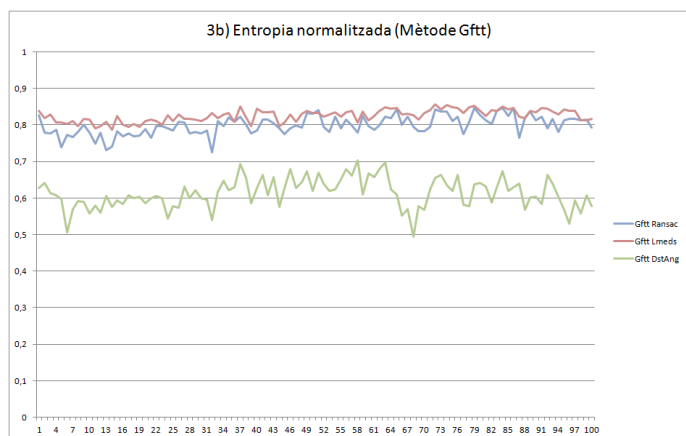


Fig.3c : 100 Experiments, gràfica de la entropia (normalitzada)(Gfft)

## A2. FOTOS



Foto 1: Càmeres utilitzades *Panasonic* i *Axis*.



Foto 2: Sistema comercial *Daview* de detecció d'intrusos.



Foto 3: Altres càmeres utilitzades *Panasonic*.